



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ



ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ
з дисциплін
**"МЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ",
"МЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ РУХОМОГО
СКЛАДУ"**

*(для студентів 3–4 курсів усіх форм навчання
напряму підготовки (6.050702) «Електромеханіка» та
слухачів другої вищої освіти спеціальностей
"Електричні системи і комплекси транспортних засобів",
"Електричний транспорт")*

Харків – ХНАМГ – 2011

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисциплін «Механічне обладнання транспортних засобів», "Механічне обладнання рухомого складу". (для студентів 3–4 курсів усіх форм навчання напряму підготовки (6.050702) «Електромеханіка» та слухачів другої вищої освіти спеціальностей «Електричні системи і комплекси транспортних засобів», "Електричний транспорт") / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: А. В. Коваленко, І. Л. Скуріхін. – Х.: ХНАМГ, 2011. – 27 с.

Укладачі: доц., к.т.н. А. В. Коваленко,
доц., к.т.н. І. Л. Скуріхін

Рецензент: проф., д.т.н. В. П. Шпачук

Рекомендовано кафедрою електричного транспорту,
протокол №2 від 09.09.2009 р.

© Коваленко А. В., Скуріхін І. Л.,
© ХНАМГ, 2011

Вступні зауваження

Ці методичні вказівки розроблені для полегшення виконання практичних робіт студентами денної і заочної форм навчання спеціальностей «Електричні системи і комплекси транспортних засобів», «Електричний транспорт» з дисциплін «Механічне обладнання транспортних засобів», «Механічне обладнання рухомого складу».

При виконанні практичних робіт пропонується проведення розрахунків найбільш важливих елементів механічної частини як рейкового, так і безрейкового РС. До них відносяться: шворнева балка трамвайного візка мостового типу; вісь колісної пари від дії механічних гальмових пристроїв (колісно–колодкове, дискове осьове, центральне гальмо); балка переднього моста двовісного тролейбуса (режим гальмування, в кривій); балка заднього моста двовісного тролейбуса (режим тяги, заносу, гальмування, у кривій).

Для проведення розрахунків необхідно використовувати вихідні параметри, задані викладачем відповідно до варіанта студента або приведені в тексті методичних вказівок.

Виконуючи практичні роботи, треба осмислено застосовувати розрахункові формули і ретельно продумувати висновки й результати. Зовсім не припустиме механічне застосування формул і виконання за ними розрахунків.

1. Прийняті позначення

Σ_B – сума всіх вертикальних сил (по осі y);

Σ_T – сума всіх горизонтальних сил (по осі z);

Σ_6 – сума всіх бічних сил (по осі x);

M – момент, що діє у вертикальній площині на елемент РС від усіх бічних сил;

$M_{тр}$ – момент тертя в опорі кузова РС трамвая, що діє в горизонтальній площині;

$G_{шб}$ – вага шворневої балки візка трамвайного вагона;

$F_{тр}$ – сила тертя в горизонтальній площині в опорі кузова на шворневу балку візка трамвайного вагона;

Σ_{1B}, Σ_{2B} – сума усіх вертикальних сил на поздовжні балки мостового візка в точках опори шворневої балки візка;

Σ_{1T}, Σ_{2T} – сума всіх горизонтальних сил, прикладених до кронштейнів поздовжніх балок мостового візка, що утримують шворневу балку візка (по осі z);

$G_{пб}$ – вага поздовжньої балки мостового візка;

P_1, P_2 – вертикальні сили від ваги тягового електродвигуна (ТЕД), траверси і моменту M , що приходяться на поздовжні балки мостового візка;

$P_{ид}$ – сила інерції від ТЕД (по осі z);

G_d – вага ТЕД;

$P_{iтр}$ – сила інерції траверси ТЕД (по осі z);

$G_{тр}$ – вага траверси ТЕД;

M_1 – момент, що розвивається ТЕД;

U_1, U_2 – направляючі горизонтальні зусилля, що виникають при вписуванні рейкового РС у криві і прикладені до реборд коліс;

T_p – сила, що виникає при гальмуванні рейковим електромагнітним гальмом і прикладена до кронштейнів поздовжніх балок мостового візка (по осі z);

$M_{\Sigma_B}^{\perp}$ – момент, що скручує поздовжню балку мостового візка і викликаний нецентрованим прикладенням вертикальної сили Σ_B ;

$\Sigma_{1B}^0, \Sigma_{2B}^0$ – суми усіх вертикальних сил, прикладених до шийок осі колісної пари (по буксах);

$\Sigma_{1T}^0, \Sigma_{2T}^0$ – суми всіх горизонтальних сил, прикладених до шийок осі колісної пари (по осі z);

Σ_6^o – сума всіх бічних сил, приведених до осі колісної пари (по осі x);
 G^o – вага осі колісної пари;
 $G_{1\text{кп}}$ – вага, що припадає на одну колісну пару;
 P_i^o – сила інерції колісної пари (по осі z);
 P_i – осьове зусилля на зубчастому колесі;
 P_p – радіальне зусилля від зубчастого колеса;
 P_3 – сила в зубчастому зачепленні;
 $M_{3\text{к}}$ – момент, створюваний зубчастим колесом;
 M_T – момент тертя (на осі гальма);
 M_T^o – момент тертя на осі колісній парі;
 $\Sigma_{1\text{в}}^{\text{пм}}, \Sigma_{2\text{в}}^{\text{пм}}$ – суми усіх вертикальних сил, що діють на передній міст тролейбуса і прикладені у місцях опори кузова на балку моста;
 $\Sigma_6^{\text{пм}}$ – сума всіх бічних горизонтальних сил, що діють на передній міст тролейбуса і прикладені у місцях опори кузова на балку моста (по осі x);
 $G_{\text{пм}}$ – вага балки переднього моста;
 $\Sigma_{\text{г}}^{\text{пм}}$ – сума всіх горизонтальних сил, що діють уздовж осі тролейбуса і прикладені у місцях опори кузова на балку моста (по осі z);
 $P_i^{\text{пм}}$ – сила інерції (у горизонтальній площині) балки переднього моста (по осі z);
 T – гальмова сила на ободі колеса (по осі z);
 $B_{3\text{ч}}$ – сила зчеплення;
 $\Sigma_{1\text{в}}^{3\text{м}}, \Sigma_{2\text{в}}^{3\text{м}}$ – суми усіх вертикальних сил, що діють на картер заднього моста тролейбуса і прикладені у точках опори кузова на картер;
 $\Sigma_{\text{г}}^{3\text{м}}$ – сума всіх горизонтальних сил у точках опори кузова на картер заднього моста тролейбуса (по осі z);
 $\Sigma_6^{3\text{м}}$ – сума бічних сил, приведених до картера заднього моста (по осі x);
 $G_{3\text{м}}$ – вага картера заднього моста;
 $P_i^{3\text{м}}$ – сила інерції картера заднього моста (по осі z);
 Ψ – коефіцієнт зчеплення;
 i – передаточне число редуктора тягової передачі;
 ϕ – коефіцієнт тертя між гальмовою накладкою і барабаном (бандажем, диском);

f – коефіцієнт тертя ковзання між башмаком електромагнітного рейкового гальма і рейкою;

R_{y1}, R_{y2} – вертикальні реакції в опорах;

R_{x1}, R_{x2} – горизонтальні реакції в опорах по осі x (поперек РС);

R_{z1}, R_{z2} – горизонтальні реакції в опорах по осі z (по подовжній осі РС);

Q_{cp} – перерізуючи сила;

x, y, z – вісі орієнтації;

x, z – вісі поперек і уздовж екіпажа відповідно;

y – вертикальна вісь;

u_{Π} – відстань від сили Σ_6 до нейтральної осі шворневої балки мостового візка;

l_1 – відстань між опорами шворневої балки мостового візка;

B_T – база візка;

u_{z1} – відстань від нейтральної осі поздовжньої балки мостового візка до реакцій R_{z1}, R_{z2} ;

u_{PT} – відстань від нейтральної осі поздовжньої балки мостового візка до сили T_p ;

u_{Σ_r} – відстань від нейтральної осі поздовжньої балки мостового візка до сили Σ_r ;

X_{Σ_a} – відстань від нейтральної осі поздовжньої балки мостового візка до сили $\Sigma_B; \Sigma$

$\Sigma_{p_1}, \Sigma_{p_2}$ – відстані між силами P_1, P_2 і серединою поздовжньої балки мостового візка ($z_{p_1} = z_{p_2}$)

l_2 – відстань між буксами;

S – відстань між колами котіння коліс колісної пари;

K – відстань між колісьми тролейбуса (по осі x);

x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 – геометричні розміри по осі x ;

r_k, D_k – радіус, діаметр колеса;

r_H – точка прикладення сили тертя на дисковому гальмі;

r_6 – радіус гальмового барабана;

r_{3k} – радіус зубчастого колеса в зачепленні.

2. Проектування і розрахунок шворневої балки трамвайного візка

Шворневу балку трамвайного візка розраховують на міцність і втому. Розрахунок ведуть при найбільш несприятливому сполученні навантажень, тобто при найбільш важкому режимі експлуатації (максимальне гальмування на криволінійній ділянці шляху під ухил і впливі на кузов вітрового бічного навантаження). Рекомендується розраховувати шворневу балку першого за ходом візка. Використовують метод розрахунку, при якому всі навантаження, що впливають на шворневу балку, враховують диференційовано. У заданому розрахунковому режимі* такими навантаженнями є:

- 1) вертикальні навантаження від статичних сил (вагові навантаження);
- 2) вертикальні додаткові навантаження, викликані вертикальною динамікою вагона;
- 3) вертикальні додаткові навантаження, викликані силою інерції при гальмуванні (розгоні) вагона;
- 4) додаткові навантаження, викликані бічними силами (відцентрової і силою бічного вітру), нахилом кузова убік;
- 5) вертикальні додаткові навантаження, викликані позовжнім ухилом шляху;
- 6) горизонтальні навантаження, викликані силами інерції уздовж вагона;
- 7) горизонтальні навантаження, викликані бічними силами;
- 8) момент тертя у п'ятниковому опорному пристрої (визначення цього моменту дано наприкінці даного розділу, формула (10)).

Після визначення розглянутих вище навантажень можна одержати сумарні розрахункові навантаження, знайти відповідні реакції в опорах і побудувати епюри моментів і сил. Епюри й особливості обираної конструкції дозволяють намітити небезпечні перерізи шворневої балки і визначити виникаючі в них напруги.

*У курсовому проекті може бути заданий спеціальний розрахунковий режим.

Розрахункові схеми шворневих балок (при опорі кузова в центрі і по краях) показані на рис. 1 – 4.

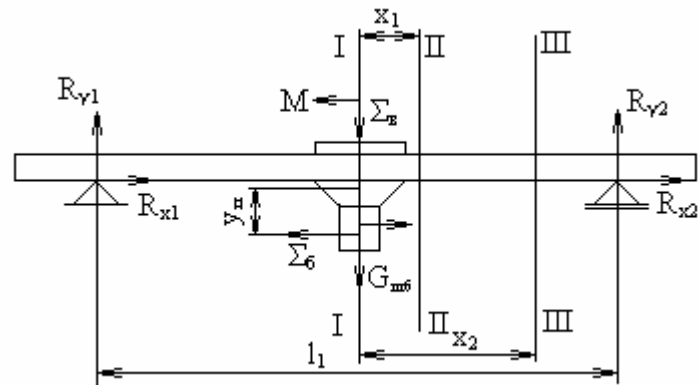


Рис. 1 – Схема навантаження шворневої балки візка у вертикальній площині (опора кузова в центрі)

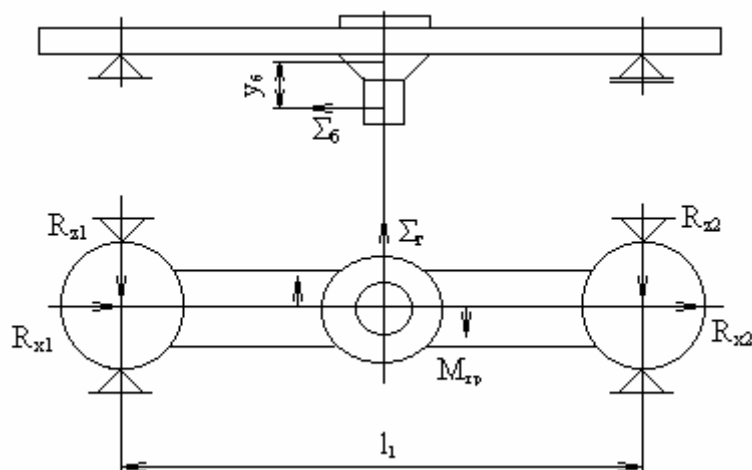


Рис. 2 – Схема навантаження шворневої балки візка в горизонтальній площині (опора кузова в центрі)

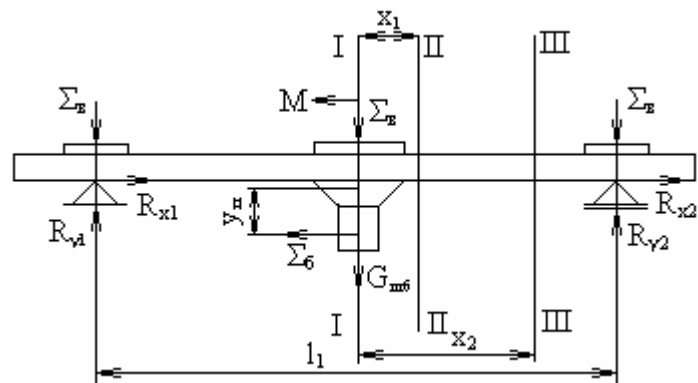


Рис. 3 – Схема навантаження шворневої балки візка у вертикальній площині (опора кузова по краях балки)

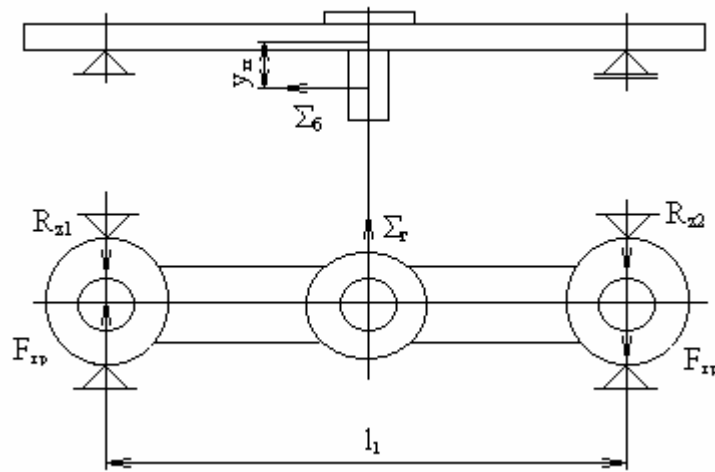


Рис. 4 – Схема навантаження шворневої балки візка в горизонтальній площині
(опора кузова по краях балки)

Напруження вигину у вертикальній і горизонтальній площинах і дотичні напруження (від скручування) підраховують відповідно за формулами:

$$\sigma_B = \frac{M_B}{W_B}; \quad (1)$$

$$\sigma_r = \frac{M_r}{W_r}; \quad (2)$$

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_{кр}}. \quad (3)$$

Тут W_B, W_r і $W_{кр}$ – моменти опору розрахункових перерізів вигину у вертикальній, горизонтальній площинах і крутінні відповідно (надалі вони позначені відповідно обраним головним осям перерізу x_0 і y_0 , тобто W_{x_0} і W_{y_0}).

Розрахункові перерізи шворневих балок звичайно мають замкнуту форму (див. рис. 5). Розрахунок таких перерізів зручно проводити табличним способом щодо вертикальної і горизонтальної осей, розбиваючи перерізи на окремі прості геометричні фігури. Як приклад підрахунок перерізу показаний (див. рис. 5) у табл. 1 (переріз, симетричний щодо осей x_0 і y_0).

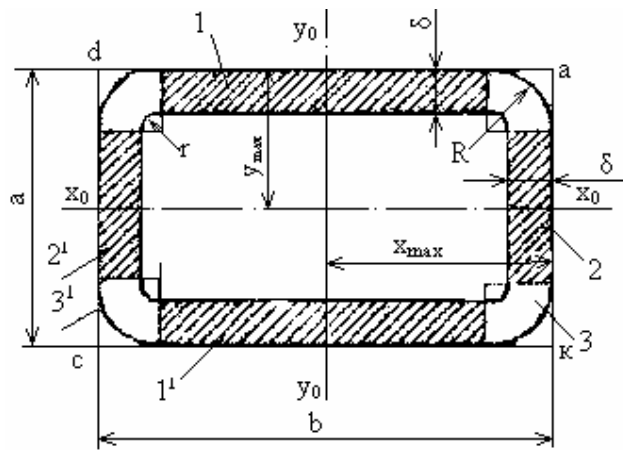


Рис. 5 – Переріз шворневої балки візка трамвайного вагону замкнутої прямокутної форми

Відомо [1], що момент інерції розглянутих елементів щодо обраних осей x_0 і y_0 дорівнює

$$J_{x_0} = J_{x_{oi}} + F_i \cdot y_i^2; \quad J_{y_0} = J_{y_{oi}} + F_i \cdot x_i^2. \quad (4)$$

Склавши у табл. 1 отримані значення для $J_{x_{oi}}$ і $F_i \cdot y_i^2$, одержуємо момент інерції всього перерізу. Розділивши момент інерції на координату до точки перерізу, що розглядається, щодо головних осей, одержимо:

$$W_{x_0} = \frac{J_x}{y_{\max}} \quad (5)$$

Аналогічно підраховують момент інерції щодо осі y_0

$$W_{y_0} = \frac{J_x}{x_{\max}} \quad (6)$$

Оскільки шворнева балка працює на вигин у двох площинах, то найбільші напруження зазнають волокна на гранях, тобто в точках а,б,с, (див. рис.5). Тому напруження в кожній з цих точок буде

$$\sigma = \sigma_y + \sigma_r = \frac{M_b}{W_{x_0}} + \frac{M_r}{W_{y_0}}. \quad (7)$$

Таблиця 1

№ елемента	Формула для находження площини f _i елемента	Площина елемента в цифрах	Результат підрахунку F _i , см ²	Формула для знахо- дження координат у _i центру тяжіння елеме- нта	Цифрове значення у _i	Підрахунок F _i ·у _i	Підрахунок моментів інерції елементів F _i ·у _i ²	Формула для знахо- дження моментів інер- ції J елементів симет- ричних відносно осі x ₀ – y ₀	Цифровий вираз J _{xoi}	Результат підрахунку J _{xoi}
			см ²		см	см ³	см ⁴			см ⁴
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1,1'	2·(b–2R)·δ			a/2–δ/2				(b–2R)·δ ³ /12		
2,2'	2·(a–2R)·δ			0		0	0	δ·(a–2R) ³ /12		
3,3'	π·(R ² –r ²)			a/2–δ/2*				1/4·π/256·(R ³ –r ³)		
* формула наближена						ΣF _i ·y _i ²				
						ΣJ _{xoi}				
J _{x0} =ΣF _i ·y _i ² + ΣJ _{xoi} ; W _{x0} = (ΣF _i ·y _i ² + ΣJ _{xoi}) /y _{max}										

Для оцінки міцності балки розрахункові напруження порівнюють з допустимими. При відливі із сталі 25Л чи 35Л і деформаціях розтягу, стиску, вигину $[\sigma] = 130 \div 140$ МПа, а для матеріалу зварених швів $[\sigma] = 155$ МПа, $[\tau] = 95$ МПа.

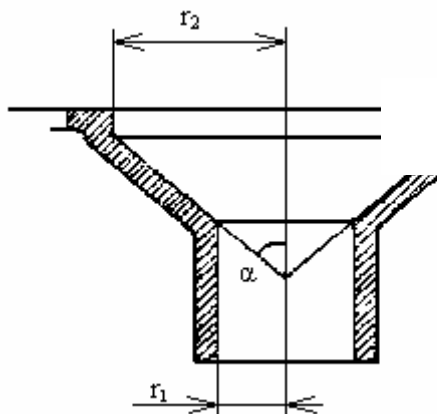


Рис. 6 – Схема підп'ятника

Для шворневих балок мостових двовісних візків центральна частина балки виконана у вигляді підп'ятника з опорною конічною поверхнею (рис. 6.) При повороті візка в горизонтальній площині виникає момент тертя (див. рис. 2), що визначається так:

$$M_{\text{тр}} = \frac{2f \cdot \Sigma \cdot (r_2^3 - r_1^3)}{3(r_2^2 - r_1^2) \cdot \sin \alpha}, \quad (9)$$

де f – коефіцієнт тертя–ковзання, який можна приймати рівним 0,15;
 r_2, r_1 – радіуси верхньої і нижньої частин конуса підп'ятника відповідно;
 α – кут між напрямком вертикальної сили й направляючої підп'ятника.

Після розрахунку на статичну міцність роблять оцінку втомленої міцності шворневої балки за методикою, викладеною в [2].

3. Проектування і розрахунок поздовжньої балки мостового візка

Поздовжні балки мостового візка трамвайних вагонів розраховують на міцність і втому аналогічно розрахунку шворневої балки. На поздовжні балки спирається через пружні елементи підвіски і кронштейни шворнева балка. Тому визначення навантажень на поздовжні балки можна починати із знаходження всіх навантажень на шворневу балку. Крім цього необхідно врахувати такі навантаження:

- 1) вертикальні навантаження від ваги тягового електродвигуна (ТЕД), його траверси і моменту на осі ТЕД;
- 2) направляючі горизонтальні сили, що з'являються при вписуванні в криву;
- 3) сили тертя між рейкою і рейковим електромагнітним башмаком;
- 4) гальмові сили на ободі коліс.

На рис. 7 показана загальна схема сил, що діють на мостовий двовісний візок, а на рис. 8 – схема сил, що діють на поздовжню балку.

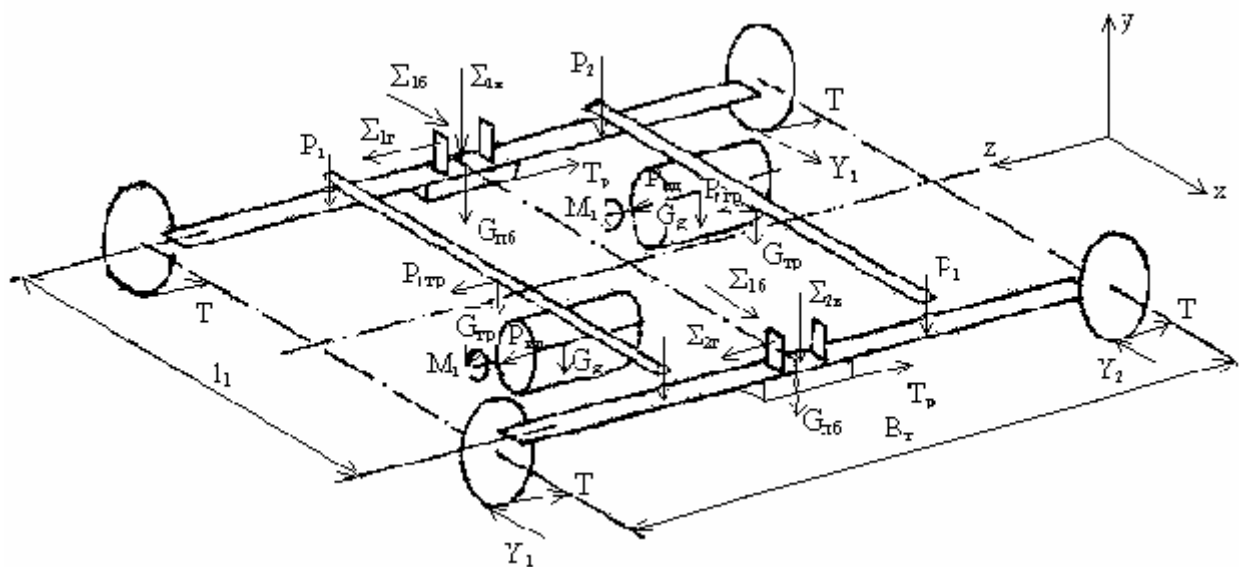


Рис. 7 – Загальна схема сил, що діють на мостовий двовісний візок

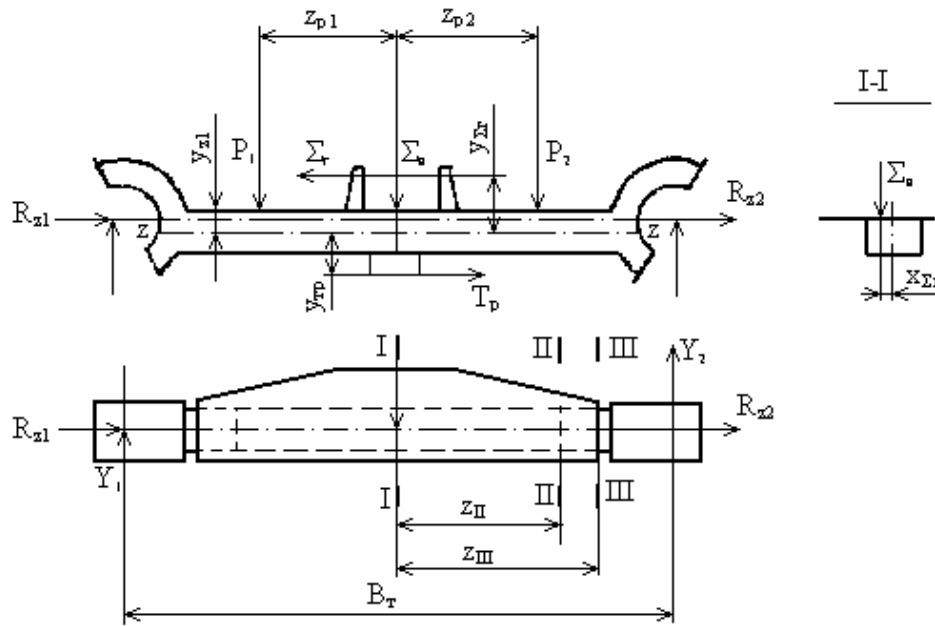


Рис. 8 – Загальна схема сил, що діють на подовжню балку мостового візка

Вагу ТЕД і траверси вибирають відповідно до конструкції, орієнтовно можна приймати в межах $G_g = 450\text{--}500$ кг, $G_{тр} = 80\text{--}90$ кг.

Момент, що розвивається ТЕД у розрахунковому режимі, з достатньою точністю можна визначити виходячи з того, що сили тяги і гальмування не можуть перевищувати сил зчеплення. Тому прийнявши коефіцієнт зчеплення рівним 0,3 і визначивши вертикальне навантаження від ваги вагона при максимальному наповненні на одну колісну пару, знаходимо силу тяги чи гальмування:

$$T = G_{\text{клп}} \cdot \psi, \quad (10)$$

а по радіусу колеса і передаточному числу редуктора розраховуємо:

$$M_1 = \frac{T \cdot r_k}{i}. \quad (11)$$

Сили P_1 і P_2 визначаємо за схемою рис.9. Оскільки сили P_1 і P_2 відповідно дорівнюють реакціям R_1 і R_2 , то

$$R_1 = P_1 = \frac{M_1 + G_g \cdot l_3 + G_{тр} \cdot (l_2 - l_1)}{l_2} \quad (12)$$

$$R_2 = P_2 = G_g + G_{тр} - R_1. \quad (13)$$

Матеріалом, з якого виготовлені поздовжні балки, звичайно є сталь Ст.5, сталь 30, з допустимими напруженнями, $[\sigma_i] = 165 \text{ МН/м}^2$, $[\tau] = 100 \text{ МН/м}^2$; у випадку виконання балки зі сталі Ст.3 і сталі 20 $[\sigma_i] = 155 \text{ МН/м}^2$, $[\tau] = 95 \text{ МН/м}^2$.

4. Проектування і розрахунок осі колісної пари

Осі колісних пар трамвайних вагонів розраховують на міцність і втому.

Навантаження осі колісної пари відбувається з'єднанням усіх навантажень, зазначених у розділах 2 і 3. Крім того, на вісь впливають:

- 1) навантаження від роботи механічних гальмових пристроїв;
- 2) навантаження від роботи зубчастого зачеплення тягової передачі;
- 3) навантаження, викликані посадкою маточин коліс.

На сучасних трамвайних вагонах, що експлуатуються в Україні, застосовують суцільні осі. Великий інтерес становлять конструкція і розрахунок порожніх осей.

На рис. 11, 12 показані розрахункові схеми осей колісних пар із зовнішніми і внутрішніми буксами. Принципово розрахунок таких осей не відрізняється, змінюються лише точки прикладення навантажень.

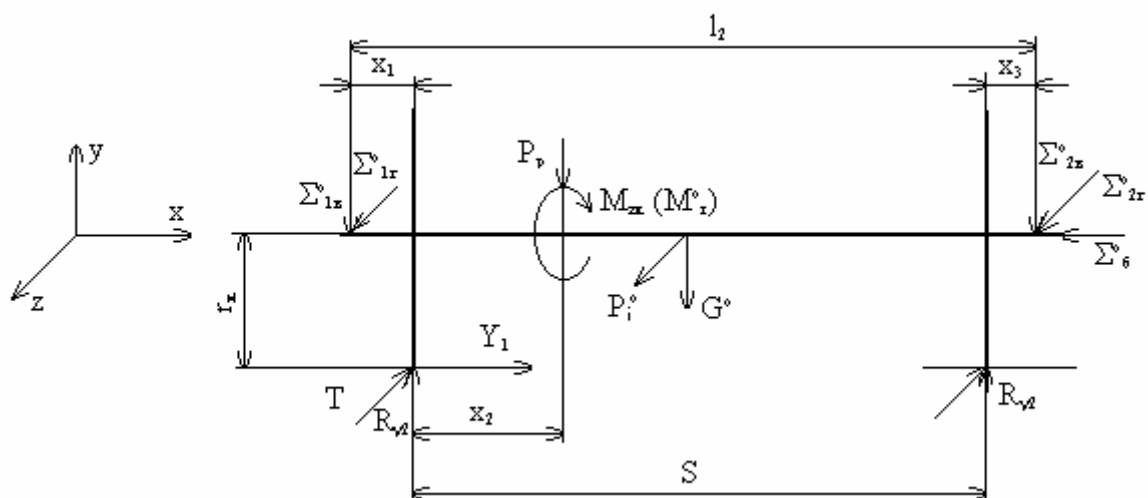


Рис. 11 – Розрахункова схема осі колісної пари з зовнішніми буксами

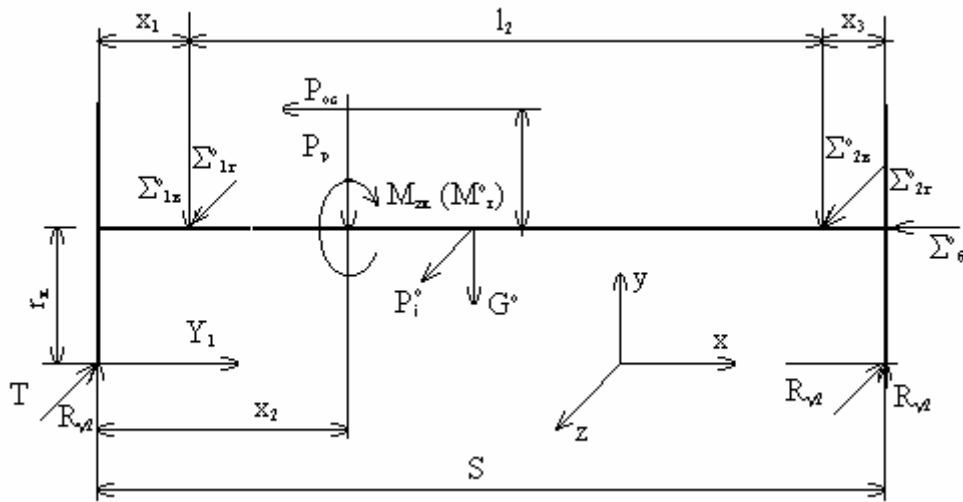


Рис. 12 – Розрахункова схема осі колісної пари з внутрішніми буксами

Визначення основних вертикальних і горизонтальних навантажень розглянуто в [2] і в попередніх розділах.

Під дією системи сил вісь зазнає поперечного вигину у двох взаємно перпендикулярних площинах і крутіння. Для проектованої осі знаходять мінімально припустимі діаметри шийки, підматочиної, запідматочиної і середньої частин за формулою

$$d_i = \sqrt{\frac{32M_{ei}}{\pi \cdot [\sigma_i]}}, \quad (15)$$

де $[\sigma_i]$ – допустимі напруження, у зазначених частинах осі;

$M_{ei} = \sqrt{M_{vi}^2 + M_{hi}^2 + 0,75M_{kpi}^2}$ – еквівалентний момент у i -му перерізі;

M_{vi} – момент, що згинає i -й переріз у вертикальній площині;

M_{hi} – момент, що згинає i -й переріз у горизонтальній площині;

M_{kpi} – момент, що крутить у i -му перерізі.

Для визначення допустимих напружень можна користатися табл. 2 (для моторних вагонів).

Таблиця 2

[σ_i], кг/см ²			
У шийці осі	У підматочиній частині	У запідматочиній частині	У середній частині
1200	1400	1400	1300

Після диференційованого визначення напружень σ_y , σ_r і τ у перерізах визначають сумарні напруження і порівнюють із тими, що допускаються, перевіряють вісь на втому.

Нижче наведені розрахунки специфічних для осі навантажень.

4.1. Розрахунок осі від дії механічних гальмових пристроїв

4.1.1. Колісно–колодкове гальмо

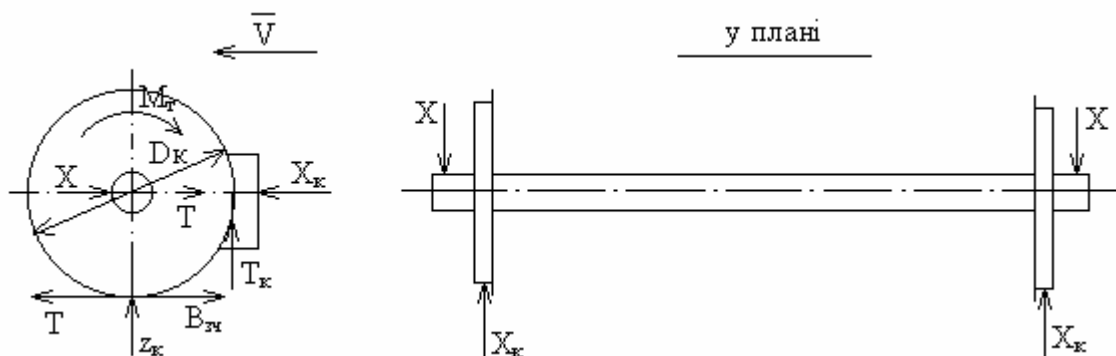


Рис. 13 – Розрахункова схема при колісно–колодковому гальмі

Для колісно–колодкового гальма з однобічним натисканням гальмових колодок на бандах колеса схема дії сил подана на рис. 13 (сила X_k спрямована горизонтально по осі симетрії, що не зовсім точно; визначення навантажень при несиметричному прикладенні сил натискання колодок див. [4]). Вісь колісної пари піддається впливу згинального моменту в горизонтальній площині від сили X_k і T . У даному випадку максимальна гальмова сила дорівнює силі зчеплення ($T_k = B_{зч}$), і можна записати:

$$T = T_k = B_{зч} = G_{\text{Ікп}} \cdot \psi. \quad (16)$$

З іншого боку, $T_k = X_k \cdot \phi$, де ϕ – коефіцієнт тертя між колодкою і поверхнею бандажа. У такий спосіб сила натискання

$$X_k = \frac{G_{\text{лп}} \cdot \Psi}{\phi} \quad (17)$$

У розрахунку коефіцієнт тертя ϕ для чавунних колодок може бути прийнятий 0,2; для пластмасових колодок – 0,28, а коефіцієнт зчеплення $\psi = 0,3$.

4.1.2. Дискове осьове гальмо

Для дискового осьового гальма з двостороннім натисканням гальмових колодок схема дії сил показана на рис. 14.

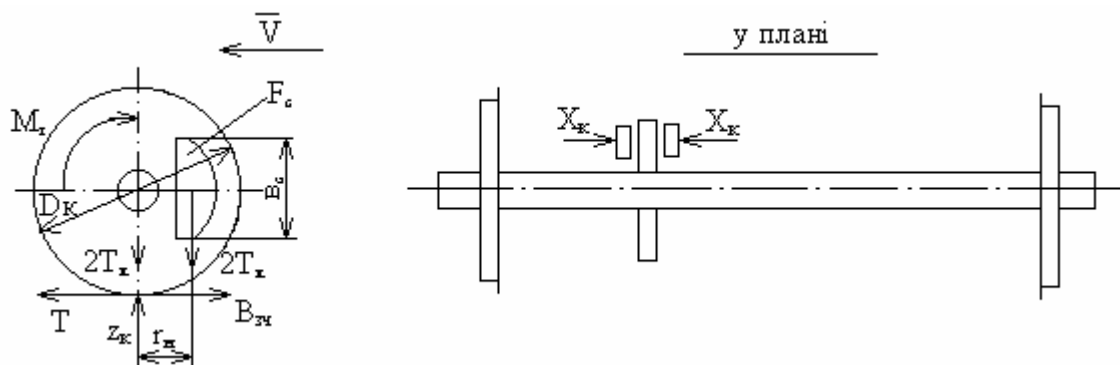


Рис. 14 – Розрахункова схема при дисковому осьовому гальмі

Вісь колісної пари піддається деформаціям вигину у вертикальній площині від сили T_k , деформаціям вигину в горизонтальній площині від сили T і крутінню моментом $M_{кр}$. Силу тертя визначаємо за формулою

$$2T_k = \frac{B_{зч} \cdot D_k}{r_h} \quad (18)$$

Тут $r_h = v_c^{3/12} F_c$, F_c – площа сегмента (звичайно таку форму мають гальмові накладки). Момент тертя (гальмовий момент)

$$M_T = 2T_k \cdot r_h = B_{зч} \cdot D_k = G_{\text{лп}} \cdot \psi \cdot D_k \cdot \quad (19)$$

Гальмову силу визначаємо за формулою (17).

4.1.3. Центральне гальмо

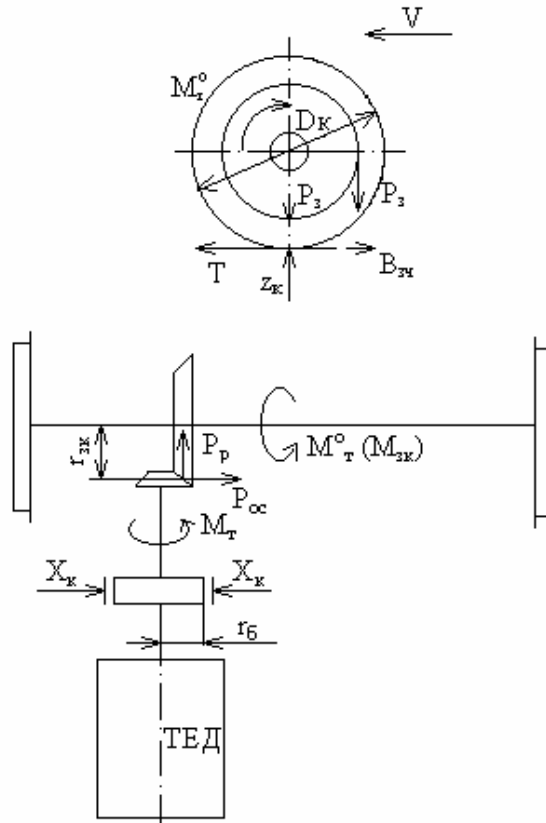


Рис. 15 – Розрахункова схема при центральному гальмі

У випадку центрального гальма (див. рис. 15) гальмовий момент через редуктор тягової передачі передається на колісну пару і викликає відповідні деформації осі. Вісь колісної пари згинається силою P_3 у вертикальній площині, P_p – у горизонтальній площині і скручується моментом M_{tr}^0 . Для розрахунку можна використовувати формулу:

$$M_{tr}^0 = M_{tr} \cdot i. \quad (20)$$

З умови реалізації максимальної сили зчеплення

$$T = B_{зч} = G_{1кп} \cdot \psi;$$

$$M_{tr}^0 = G_{1кп} \cdot \psi \cdot r_k; \quad (21)$$

$$M_{tr}^0 = P_3 \cdot r_{зк}; \quad (22)$$

$$P_3 = \frac{G_{1кп} \cdot \psi \cdot r_k}{r_{зк}}. \quad (23)$$

Сили P_{oc} і P_p визначають відповідно до конструкції зубчастого зачеплення.

4.2. Розрахунок осі колісної пари від насадки колеса на вісь

Вісь колісної пари зазнає дію постійних сил, що виникають у результаті пресої посадки маточини колеса. Ці сили діють по поверхні контакту маточини з підматочиною частиною осі. Найбільше нормальне напруження в осі, що діє по краях маточини (у цих місцях необхідно враховувати розглянуті напруження) відповідно до [4]:

$$\sigma_{x \max} = 0,28 \cdot P_{\max}$$

Приймаючи за [4] відношення $P_{\max}/E\delta_o = 0,4$, можна записати

$$\sigma_{x \max} = 0,28 \cdot 0,4 \cdot \delta_o, \quad (24)$$

де P_{\max} – максимальний питомий тиск, кг/см²;

$E = 2,1 \cdot 10^6$ – модуль пружності для сталі, кг/см²;

$\delta_o = \Delta_o/d_2$ – відносний натяг;

$\Delta_o = 0,1-0,25$ – натяг, мм (залежить від конструкції осі) [3];

d_2 – діаметр осі в підматочиній частині, мм.

4.3. Оцінка втомленої міцності осі

Для розрахунку осі на втому використана методика, викладена в [3]. За табл. 3.1 знаходимо межу втоми нормальних зразків (для сталі осі):

$$[\sigma_{-1}]_o = 2100 \text{ кг/см}^2.$$

Коефіцієнти концентрацій напружень при вигині визначають за залежностями, приведеними на рис. 3.2 – 3.5 [3].

Значення $(k_\delta)_{02}$ знаходять за відношенням радіуса гантелі до діаметра шийки осі в передпідматочинному переході до підматочинового, а за відношенням діаметрів передпідматочинової частини і шийки осі визначають v_δ .

Для осей сучасних трамвайних вагонів $(k_\delta)_{02} = 1,1$, $v_\delta = 0,3$.

Коефіцієнт концентрації напружень зразка

$$(k_\delta)_0 = 1 + v_\delta \cdot [(k_\delta)_{02} - 1]. \quad (25)$$

Масштабні фактори будуть мати значення

$$\varepsilon_{ок} = 0,64, \quad \varepsilon_o = 0,9, \quad \varepsilon_{дк} = 0,72,$$

а коефіцієнт, що характеризує вплив чистоти поверхні на концентрацію напруг,
 $\Delta = 0,1$.

Визначаємо коефіцієнт концентрації напружень при вигині:

$$(k_{\delta})_д = (k_{\delta})_o \cdot \varepsilon_{ок} \cdot (1 + \Delta) / \varepsilon_o \varepsilon_{дк}. \quad (26)$$

Межа втоми осі при вигині матиме значення

$$[\sigma_{-1}]_д = [\sigma_{-1}]_o / (k_{\delta})_д \quad (27)$$

Запас втоми при вигині

$$n_{\sigma} = [\sigma_{-1}]_д / \sigma_p \geq [n]. \quad (28)$$

Отримане значення n_{σ} повинно бути більше або дорівнювати допустимому значенню $[n] = 2,0$ [5].

5. Розрахунок балок мостів тролейбуса

Розрахунок балки переднього моста і картера заднього моста тролейбуса проводять у таких режимах: гальмування і занос – для переднього моста і тяга, гальмування, занос – для заднього моста.

Основи розрахунку зазначених балок на міцність докладно викладені в [3],[6], а методика визначення навантажень у [2].

Основні розрахункові схеми навантажень на мости двохвісного тролейбуса показані на рис. 16, 17 і 18.

Балки передніх мостів тролейбусів виготовляють із середньовуглецевих сталей (кування, загартування, відпуск), наприклад, із сталі 30х45, для якої $[\sigma_i] = 160 \text{ МН/м}^2 (\text{МПа})$.

Картер заднього моста звичайно роблять з литої сталі з допустимим напруженням $[\sigma_i] = 140 \text{ МН/м}^2$, а кожухи півосей із сталей, для яких $[\sigma_i] = 160 \text{ МПа} (\text{МН/м}^2)$.

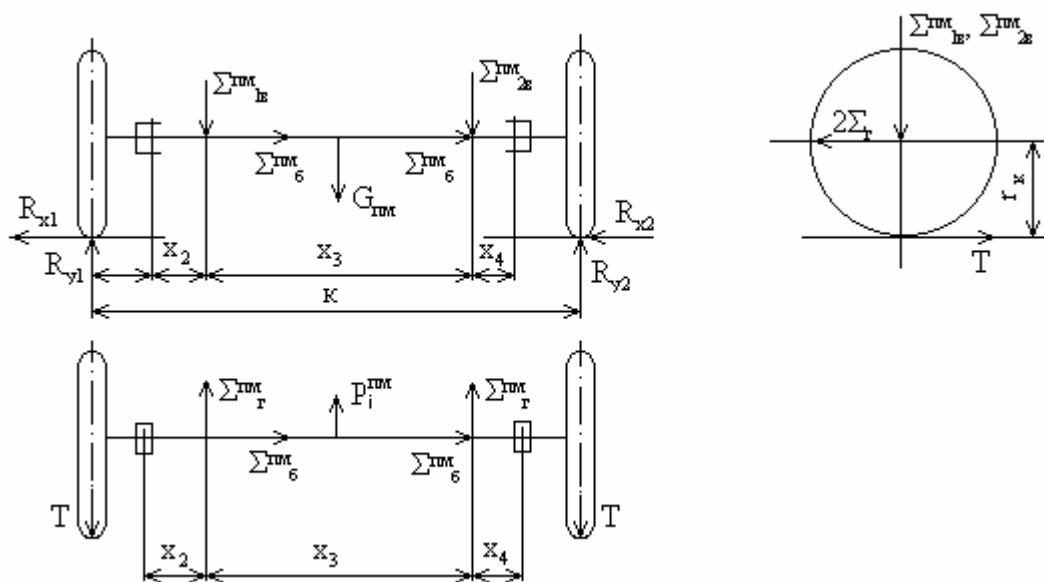


Рис. 16 – Розрахункова схема балки переднього моста двохвісного тролейбуса (режим гальмування у кривій)

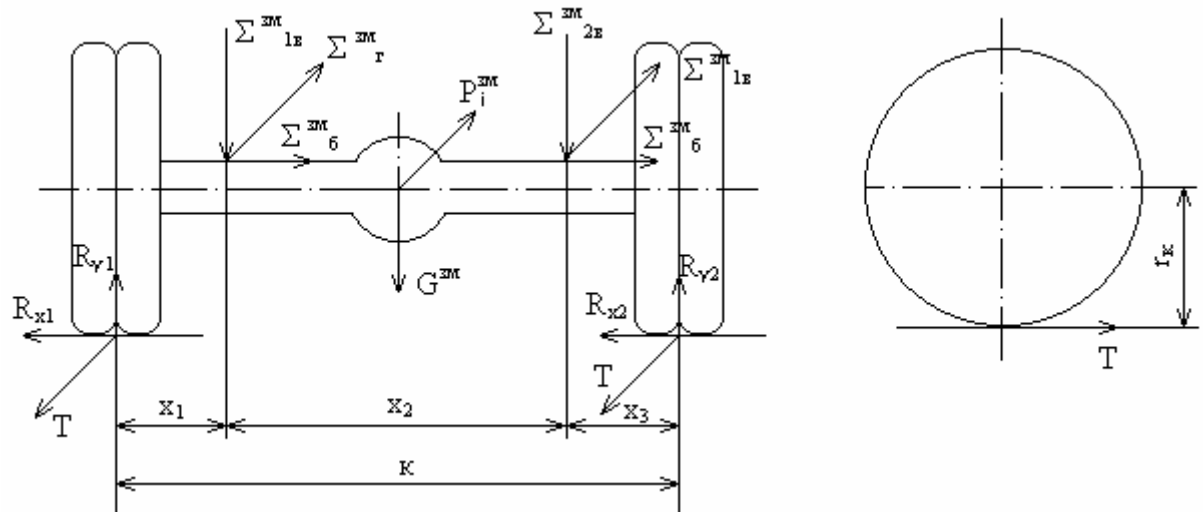


Рис. 17 – Розрахункова схема картера заднього моста двовісного тролейбуса
(режим тяги, гальмування, у кривій)

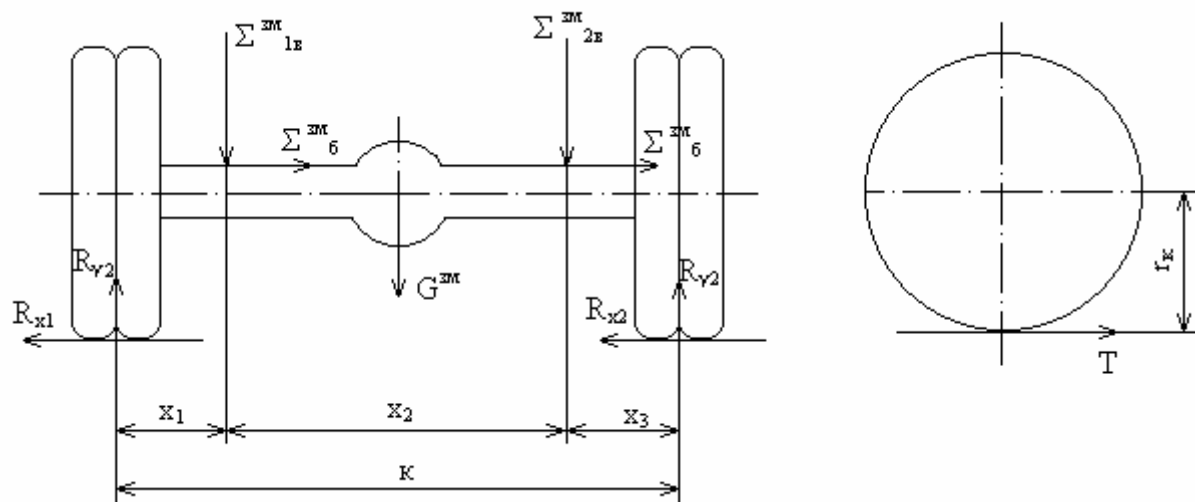


Рис. 18 – Розрахункова схема картера заднього моста двовісного тролейбуса
(режим заносу)

Список джерел

1. Беляев Н.М. Сопротивление материалов.– М.,1964.
2. Скуріхін І.Л., Коваленко А.В. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни "Механічне обладнання рухомого складу міського електротранспорту. – Харків: ХДАМГ, 2002.
3. Ефремов И.С., Гущо–Малков Б.П. Теория и расчет механического оборудования подвижного состава городского электрического транспорта.– М: Стройиздат, 1970.
4. Шадур Л.А. Расчет вагонов на прочность. – М.: Машиностроение, 1971.
5. Нормы для расчетов на прочность при проектировании ходовых частей электровагонов колеи 1524 мм. Рижский филиал ВНИИ Вагоностроения. – Рига, 1967.
6. Ефремов И.С., Кобозев В.М. Проектирование и расчет механического оборудования троллейбусов. – М.: МЭИ, 1964.

ЗМІСТ

Вступні зауваження.....	3
1. Прийняті позначення.....	4
2. Проектування і розрахунок шворневої балки трамвайного візка.....	7
3. Проектування і розрахунок поздовжньої балки мостового візка.....	13
4. Проектування і розрахунок осі колісної пари.....	16
4.1. Розрахунок осі від дії механічних гальмових пристроїв.....	18
4.1.1. Колісно–колодкове гальмо	18
4.1.2. Дискове осьове гальмо	19
4.1.3. Центральне гальмо	20
4.2. Розрахунок осі колісної пари від насадки колеса на вісь.....	21
4.3. Оцінка втомленої міцності осі.....	21
5. Розрахунок балок мостів тролейбусів.....	23
Список джерел	25

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки

до виконання практичних робіт з дисциплін

«Механічне обладнання транспортних засобів», "Механічне обладнання рухомого складу"

(для студентів 3–4 курсів усіх форм навчання на пряму підготовки (6.050702) «Електромеханіка» та слухачів другої вищої освіти спеціальностей «Електричні системи і комплекси транспортних засобів», "Електричний транспорт").

Укладачі **Коваленко Андрій Віталійович**

Скуріхін Ігор Леонідович

Відповідальний за випуск *В. Х. Далека*

Редактор *Д. Ф. Курильченко*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2010, поз. 189 М

Підп. до друку 23.03.10	Формат 60x84/16
Друк на ризографі.	Ум. друк. арк. 1,1
Зам. №	Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4064 від 12. 05. 2011 р.